2.3. Оптимизационные процедуры рангового анализа

Ранговый анализ никогда не заканчивается аппроксимацией соответствующих распределений техноценоза. За ним всегда следует оптимизация, т.к. нашей главной задачей является определение направлений и критериев улучшения существующего техноценоза. Оптимизация является одной из сложнейших проблем техноценологической теории. Этому направлению исследований посвящено значительное число работ [3,4,7-20,22,28-31,34,37,40-42,48-50,52,55-59,67-71]. И хотя это отдельный серьезный разговор, который мы будем в основном вести в следующей главе, все же здесь предварительно рассмотрим шесть оптимизационных процедур, достаточно хорошо апробированных на практике.

Следует отметить, что оптимизационные процедуры техноценоза, как правило, реализуются комплексно и позволяют решать три основных задачи. Первая, наиболее общая задача заключается в полномасштабной номенклатурной оптимизации техноценоза. При ее решении в той или иной степени задействуются все шесть процедур. Первоначально с помощью анализа рангового видового распределения определяется направление глобальной трансформации структуры техноценоза. Затем выявляются аномальные отклонения на видовом распределении, которые устраняются методами параметрической оптимизации по видообразующим параметрам (двумя различными способами). В ходе реализации предусматривается верификация процедур с помощью анализа динамики изменения параметров гиперболической формы рангового видового распределения.

Вторая задача возникает в том случае, когда, по какой-либо причине, нет возможности осуществлять структурные изменения в техноценозе. Однако при этом необходимо реализовывать эффективную научно-техническую политику в исследуемой отрасли или техноценозе. Здесь используется синтетическая методология, основанная на совместном анализе ранговых видовых и параметрических распределений, а также зависимостей, отражающих фундаментальную связь между видовым и параметрическим рангами техноценоза (параметрическое нормирование). В ходе решения данной задачи можно говорить об использовании в той или иной мере первой, четвертой и пятой оптимизационных процедур.

Наконец, третья задача не ставит целью как таковую структурную оптимизацию в техноценозе. Речь идет лишь о локальной ресурсной оптимизации, которая осуществляется в рамках шестой процедуры методами анализа ранговых параметрических распределений, построенных по функциональным параметрам. Тем не менее, подобная задача достаточно часто возникает в процессе развития уже существующего техноценоза, когда его оптимизация осуществляется с целью повышения эффективности путем экономии потребляемых энергетических ресурсов.

Следует отметить, что все три задачи имеют общую основу. Во-первых, они базируются на критериальной системе закона оптимального построения техноценозов. Во-вторых, как уже показано в ряде работ [19,20], параметрическая оптимизация, будучи осуществляема отдельно, в конечном итоге ведет к номенклатурной. Таким образом, вторая и третья задачи, с точки зрения конечного результата, сводятся к первой. Итак, рассмотрим оптимизационные процедуры более подробно.

Первая процедура – определение направления трансформации рангового видового распределения – основывается на понятии об идеальном распределении, которое на рисунке 2.5 обозначено цифрой 2. Единицей обозначено реально полученное в результате анализа техноценоза ранговое видовое распределение. Здесь Λ – количество видов (точнее – мощность популяции), а r_B – видовой ранг (см. рис. 2.2).

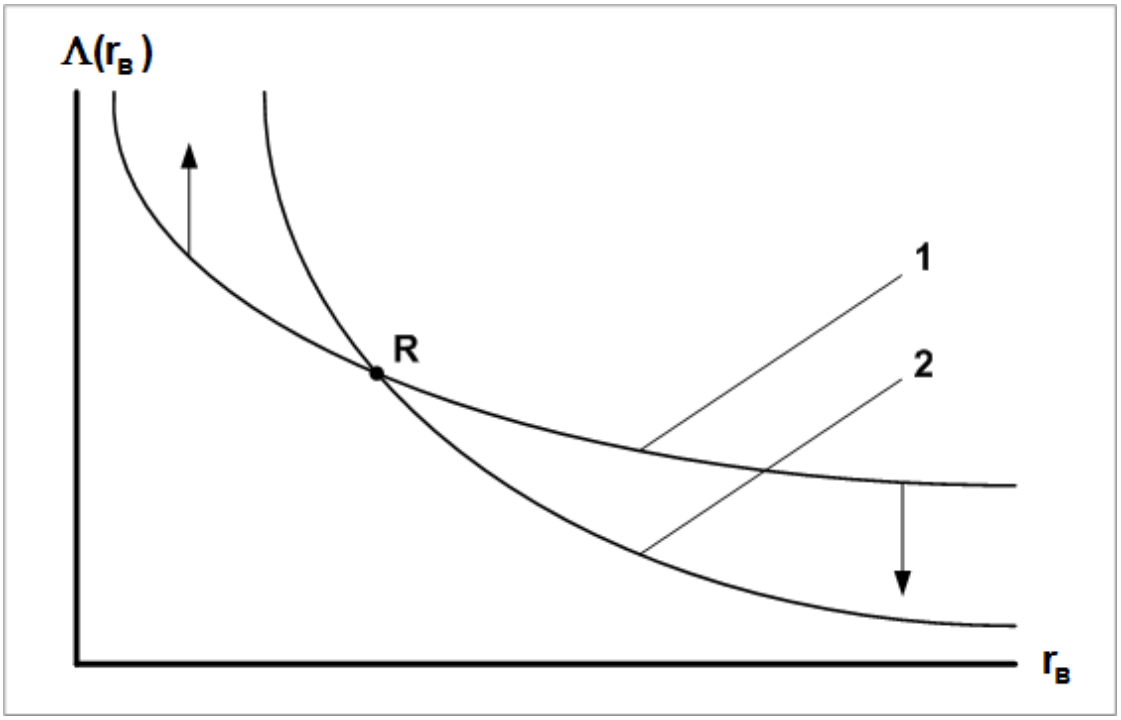

Рис. 2.5. К первой процедуре оптимизации

Как показывает многолетний опыт исследования техноценозов из различных областей человеческой деятельности, наилучшим является такое состояние техноценоза, при котором в аппроксимационном выражении рангового видового распределения

$$\Lambda(r_B) = \frac{B}{r_B^{\beta}} \tag{2.17}$$

параметр β находится в пределах $0{,}5 \le \beta \le 1{,}5.$ (2.18)

Кстати, закон оптимального построения техноценозов гласит [13,16], что оптимальное состояние достигается при значении β, близком к единице. Однако это распространяется лишь на некий идеальный техноценоз, функционирующий абсолютно изолированно. Таких на практике не бывает, поэтому можно пользоваться интервальной оценкой (2.18). На рисунке 2.5 для лучшего понимания показана идеальная кривая (с $\beta = 1$), а не полоса, удовлетворяющая требованию (2.18).

Из рисунка также видно, что реальное распределение резко отличается от идеального, причем кривые пересекаются в точке R. Отсюда вывод: среди видов техники с рангами $r_B < R$ следует проводить унификацию, а одновременно там, где $r_B > R$, наоборот, увеличивать разнообразие, что на рисунке проиллюстрировано стрелками. Такой, в общих чертах, представляется первая оптимизационная процедура.

Вторая процедура – устранение аномальных отклонений на видовом распределении. Как уже отмечалось, на видовом распределении техноценоза можно выделить области максимальных аномальных отклонений (они показаны, хотя и весьма условно, на рис. 2.6).

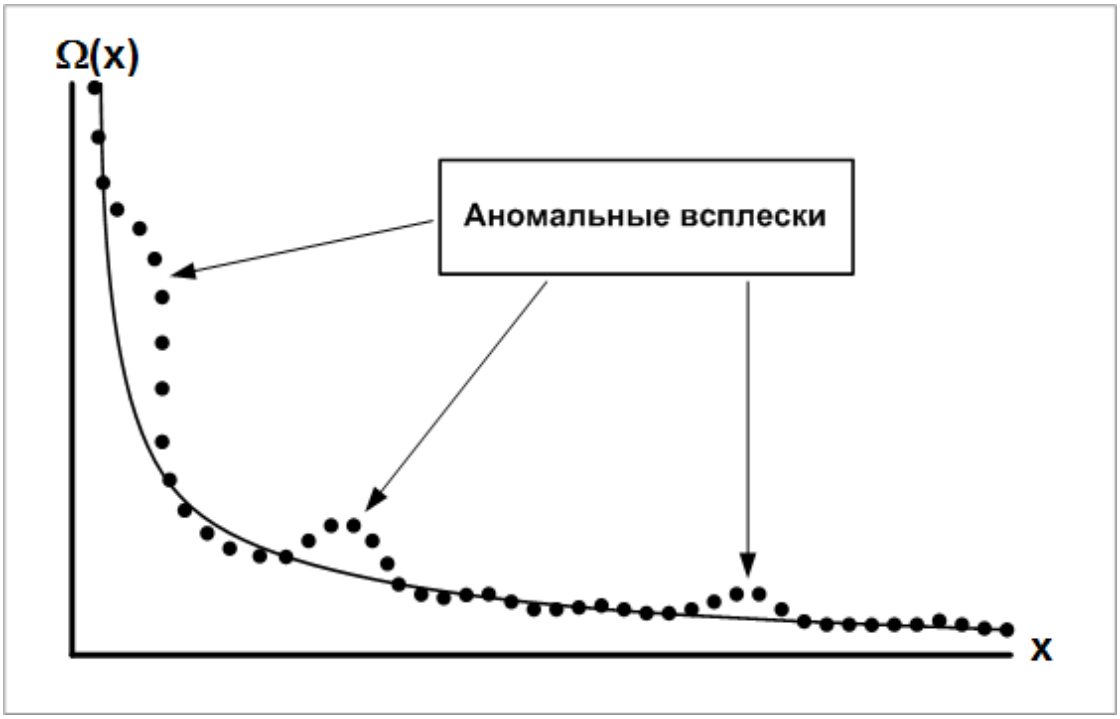

Рис. 2.6. Ко второй процедуре оптимизации

Здесь мы отчетливо видим как минимум три ярко выраженные аномалии, где реально полученные эмпирические точки явно отклоняются от плавной аппроксимационной кривой. При этом кривая строится, как мы

уже знаем, методом наименьших квадратов по данным табулированного рангового видового распределения и описывается выражением:

$$\Omega(x) = \frac{\omega_0}{x^{\alpha}}, \tag{2.19}$$

где Ω – количество видов (см. рис. 2.4);
x – непрерывный аналог мощности популяции;
ω_0 и α – параметры распределения.

После выявления аномалий на видовом распределении по тому же табулированному ранговому видовому распределению определяются виды техники, «ответственные» за аномалии, и намечаются первоочередные мероприятия по устранению выявленных аномалий. При этом отклонения вверх от аппроксимирующей кривой свидетельствуют о недостаточной унификации, а вниз – наоборот, об избыточной.

Следует повториться и отметить, что первая и вторая процедуры взаимосвязаны, причем первая показывает стратегическое направление изменения видовой структуры техноценоза в целом, а вторая – помогает локально выявить «самые больные» зоны в номенклатуре техники.

Третья процедура – верификация номенклатурной оптимизации техноценоза (рис. 2.7). Очевидно, что в любом реальном техноценозе номенклатурная оптимизация, осуществляемая в рамках первой и второй процедур, может быть выполнена лишь в течение длительного промежутка времени. Кроме того, реализация на практике предлагаемых мероприятий может натолкнуться на ряд субъективных трудностей. Поэтому весьма полезной представляется дополнительная оптимизационная процедура – так называемая верификация, для осуществления которой требуется статистическая информация о состоянии техноценоза за обозримый промежуток времени. Это позволит построить зависимость параметра β рангового видового распределения во времени t. Предположим, что эта зависимость получилась такой, как показано на рисунке 2.7, то есть видовой состав техноценоза со временем трансформировался, изменялся и параметр β. С зависимостью $\beta(t)$ в одних осях необходимо сопоставить зависимость $E(t)$, где E – некоторый ключевой параметр, характеризующий функционирование техноценоза в целом, например, прибыль. Если дополнительный корреляционный анализ покажет, что взаимообусловленность E и β значима, сопоставление их временных зависимостей позволит сделать целый ряд чрезвычайно важных выводов. В качестве примера на рисунке 2.7 стрелками показан способ определения оптимального значения β.

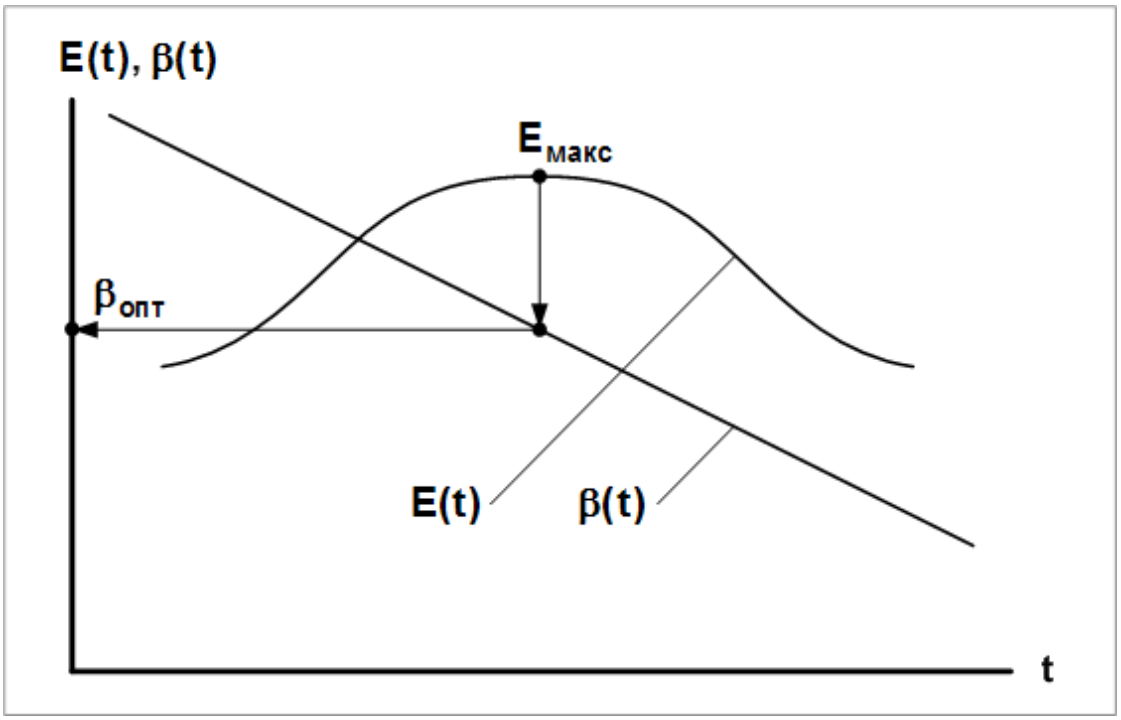

Рис. 2.7. К третьей процедуре оптимизации

Четвертая процедура рангового анализа – параметрическая оптимизация техноценоза (рис. 2.8).

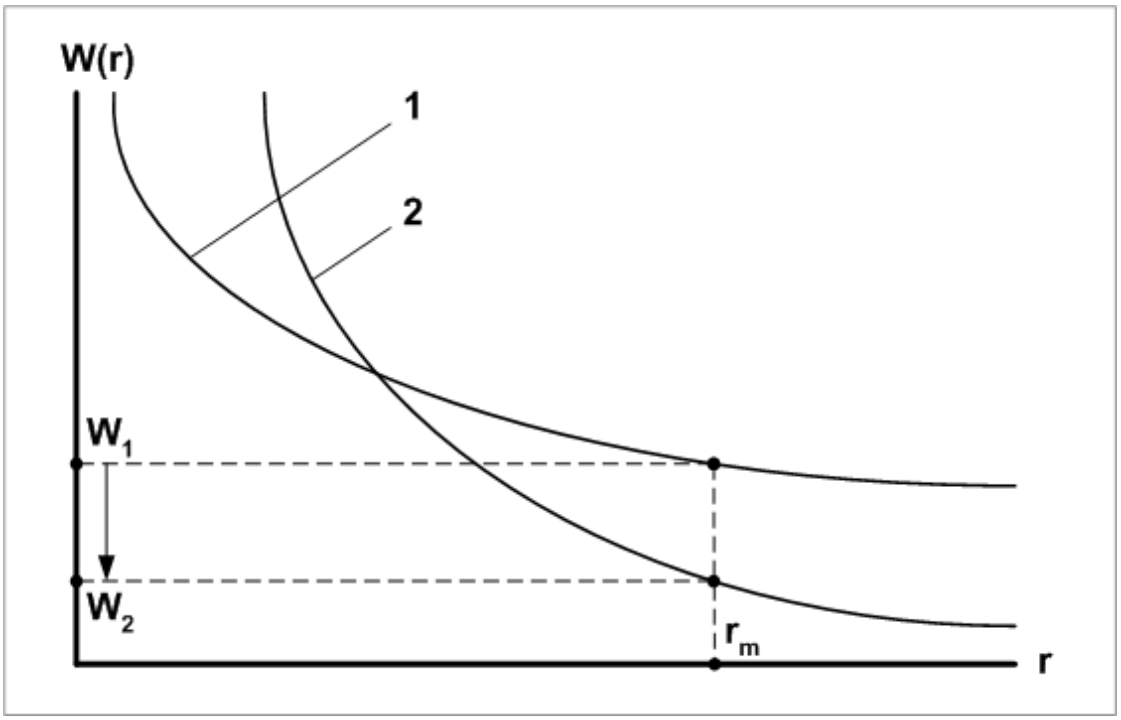

Рис. 2.8. К четвертой процедуре оптимизации

Строго говоря, первые три оптимизационные процедуры относятся к так называемой номенклатурной оптимизации техноценоза. Четвертая, хотя и рассматривается в данном случае как дополнительная к предыдущим, принадлежит к несколько другой сфере и называется, как уже указано, параметрической. Для уточнения разграничения областей применения процедур дадим основные определения [19,20].

Под номенклатурной оптимизацией техноценоза понимается целенаправленное изменение набора видов техники (номенклатуры), устремляющее видовое распределение техноценоза по форме к каноническому (образцовому, идеальному). Параметрическая оптимизация – целенаправленное изменение параметров отдельных видов техники, приводящее техноценоз к более устойчивому, и, следовательно, эффективному состоянию. Как уже отмечалось, к настоящему времени теоретически показано [13-16], что между процедурами номенклатурной и параметрической оптимизации имеется фундаментальная взаимосвязь, когда одну процедуру без другой осуществить практически невозможно. Обе они фактически являются разными сторонами одного и того же процесса оптимального управления.

Существует авторская концепция оптимального построения техноценозов [6-20], по которой номенклатурная оптимизация задает конечное состояние техноценоза, к которому она устремлена, а параметрическая – определяет детальный механизм этого длительного процесса. Не будем углубляться в суть этой концепции (теоретически она будет рассмотрена в следующей главе), ограничимся лишь упрощенными вариантами параметрической оптимизационной процедуры [14].

Ранее мы ознакомились с процессом получения рангового параметрического распределения. Рассмотрим абстрактный пример распределения техноценоза по параметру W (рис. 2.8). Из закона оптимального построения [19,20] следует, что для любого техноценоза может быть теоретически задана форма так называемого идеального рангового параметрического распределения. На рисунке оно изображено кривой, обозначенной цифрой 2 (реальное – 1). Видно, что эти два распределения значительно различаются, что свидетельствует об упущениях в научно-технической политике, проводимой системой управления при формировании техноценоза.

Если еще раз констатировать принципиальное отличие видового ранга техноценоза от параметрического и применить ставшую уже традиционной для исследователей, занимающихся оптимизацией техноценозов, двухпараметрическую гиперболическую аппроксимационную форму

$$W = \frac{W_0}{r^{\beta}}, \qquad (2.20)$$

где r – параметрический ранг;

W_0 и β – параметры распределения,

то идеальное распределение будет аналитически задаваться интервальной оценкой требований к параметру β, причем

$$0{,}5 \le \beta \le 1{,}5. \qquad (2.21)$$

Исходя из тех же соображений, которые приведены в комментариях (2.18) к выражению (2.17), в данном случае интервальную оценку заменяют конкретным значением $\beta = 1$, поэтому на рисунке 2.8 вместо полосы изображена кривая 2.

Суть параметрической оптимизации в данном случае сводится к тому, что после выявления на видовом распределении видов техники, «ответственных» за аномальные отклонения (вторая процедура оптимизации), определяются параметрические ранги этих видов. На рисунке 2.8 подобному виду соответствует точка с координатами (r_m, W_1). Далее по оптимальной кривой 2 определяется значение W_2, соответствующее той же абсциссе (r_m). Очевидно, что W_2 может интерпретироваться как своего рода требование к разработчикам видов техники по данному конкретному параметру (направление оптимизации показано на рисунке стрелкой). Если в ранговых распределениях провести подобную операцию по всем основным видообразующим параметрам, можно вести речь о задании комплекса технических требований на разработку или модернизацию вида техники.

Ко всему сказанному имеется ряд замечаний. Во-первых, что чрезвычайно важно понять, в техноценозе существует глубокая, фундаментальная взаимосвязь между численностью видов техники (объемом популяции) и уровнем их основных видообразующих параметров [13,16,19,20]. Поэтому оптимизация может осуществляться не только за счет изменения параметров, но также и путем подбора существующего вида с подходящими параметрами либо изменения численности особей данного вида в техноценозе. Выбор пути целиком зависит от конкретной ситуации. То, как это делается, мы здесь опускаем и адресуем интересующихся к следующей главе и специальной литературе [7-20].

Во-вторых, в простейшем варианте оптимизации могут возникнуть технические трудности с определением параметрического ранга r_m. Выйти из этого положения можно следующим образом. После выявления вида, требующего параметрической оптимизации, определяется его видовой ранг. Причем по видовому распределению определяется лишь численность этого вида в техноценозе, а уже потом, с учетом численности, по ранговому видовому распределению определяется видовой ранг (и собственно марка техники). Зная видовой ранг, по табулированному распределению определяют значение параметра, соответствующее данному виду. Откла-

дывают его на распределении (на рис. 2.8 это значение W_1) и далее поступают в соответствии с предложенной выше процедурой.

Следует отметить, что на практике процедура параметрической оптимизации, как правило, осуществляется несколько иным образом, что порождает еще две дополнительные процедуры. Дело в том, что, как известно, все параметры, характеризующие техноценоз, делятся на две группы: видообразующие и функциональные [20]. Видообразующие параметры (их иногда называют классификационными параметрами назначения) характеризуют технические виды как таковые. Их совокупность, в определенном смысле, отграничивает виды друг от друга. К ним относятся: установленная мощность, номинальное напряжение, частота, масса, габариты, производительность, скорость, запас хода и т.п. Параметрическая оптимизация по данным параметрам является частью номенклатурной и осуществляется, как правило, совместно с ней. Пятая, по сути, синтетическая процедура, основанная на совместном использовании ранговых видовых и параметрических видообразующих распределений техноценоза, называется параметрическим нормированием (рис. 2.9). Глубокое теоретическое обоснование и пример реализации процедуры приведены в работах [11,12,19,20]. Определенное внимание будет уделено ей и здесь в третьей главе.

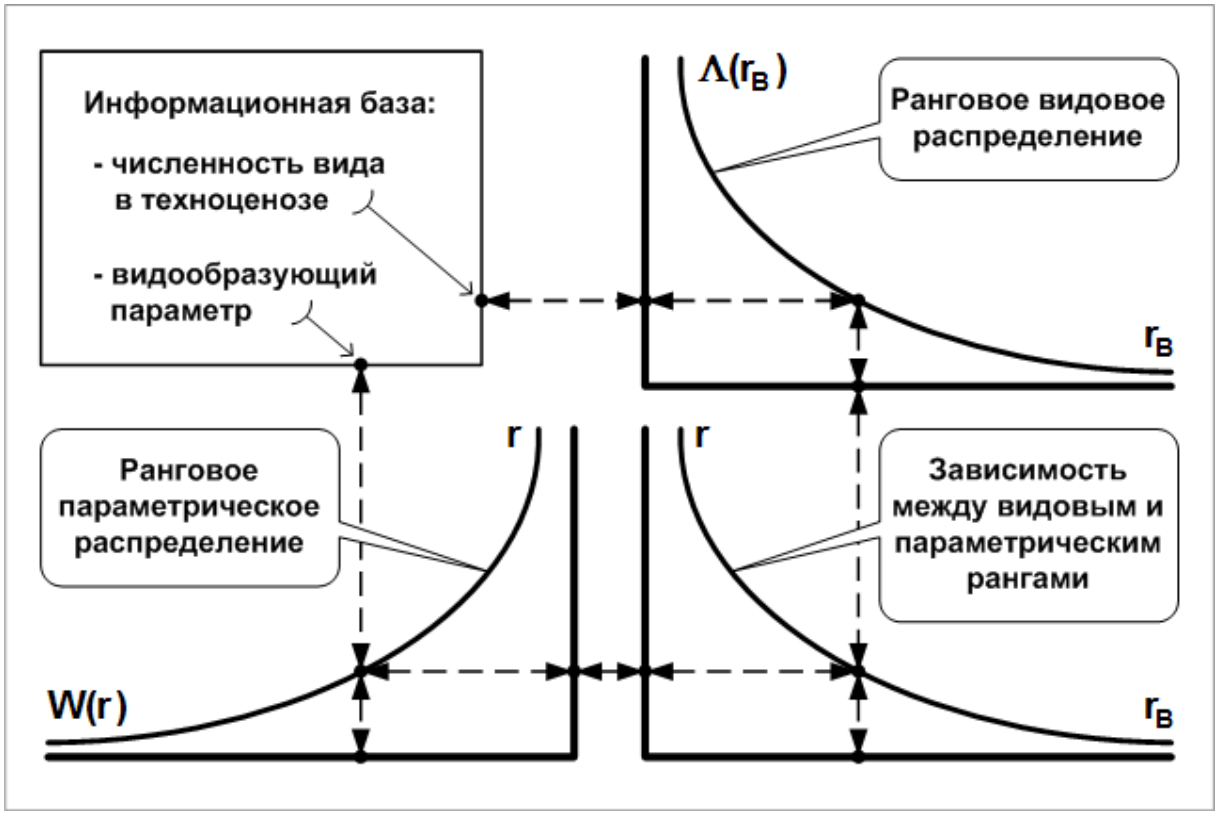

Рис. 2.9. Схема реализации процедур параметрического нормирования в техноценозе

Суть параметрического нормирования заключается в том, что в совмещенной системе координат строятся ранговое видовое и ранговое параметрическое распределения, а также особый график, связывающий видовой и параметрический ранги техноценоза. Последний строится на основе четвертого уравнения закона оптимального построения техноценозов [12,19,20]. Полученная номограмма позволяет, задавшись требованиями по численности вида в техноценозе, определить целесообразные значения его видообразующих параметров, либо наоборот, зная параметры, формулировать рекомендации к мощности популяции данного вида техники в техноценозе. Все это проиллюстрировано на рисунке 2.9.

Функциональные параметры характеризуют процесс эксплуатации технических изделий в техноценозе. К ним можно отнести топливную экономичность, стоимость жизненного цикла, численность обслуживающего персонала, энергопотребление и т.п. Оптимизация техноценоза по данным параметрам сводится к оптимальному управлению на системном уровне (шестая процедура). При этом в качестве канонической принимается не кривая, обладающая оптимальными параметрами, а аппроксимационная кривая, полученная в ходе первых этапов рангового анализа. Оптимальное управление реализуется в рамках трех процедур: прогнозирования, интервального оценивания и нормирования [19,20]. Стержневой здесь является процедура интервального оценивания, задающая переменным доверительным интервалом вокруг аппроксимационной кривой своего рода «физическое поле» потребления ресурсов и таким образом показывающая область нормального потребления в техноценозе (рис. 2.10).

Процедуры рангового анализа в процессе ресурсной оптимизации техноценоза осуществляются в два этапа. На этапе статистического анализа и построения эмпирической модели процесса потребления ресурсов осуществляется полномасштабная статистическая обработка эмпирических данных по техноценозу, которая включает интервальное оценивание, а также ранговый и кластерный анализ. Ранговый анализ позволяет упорядочить информацию, осуществить прогнозирование потребления ресурсов отдельными объектами и техноценозом в целом, интервальное оценивание выявляет в динамике и наглядно представляет объекты с аномальным потреблением ресурсов. Кластерный анализ позволяет разбить исследуемые объекты по особым группам (параметрическим кластерам) и осуществить нормирование потребления ресурсов объектов в каждой группе с последующим подробным статистическим описанием норм.

Статическая модель потребления ресурсов, стержнем которой является глубокая детерминированная обработка данных посредством процедур рангового, интервального и кластерного анализа, на втором этапе оптимизации дополняется динамической адаптивной моделью, корректно отражающей процесс потребления ресурсов объектов техноценоза на глубину в будущем 5 – 7 лет и более. При этом ключевым является наличие об-

ратной связи, корректирующей исходную базу данных по потреблению ресурсов на основе результатов текущего моделирования. Динамический характер модели придает развитая система входных и выходных параметров, отражающих свойства и внешние условия функционирования объектов техноценоза, а также стохастический аналитический аппарат, основанный на имитационных принципах моделирования (подробнее – см. [20]).

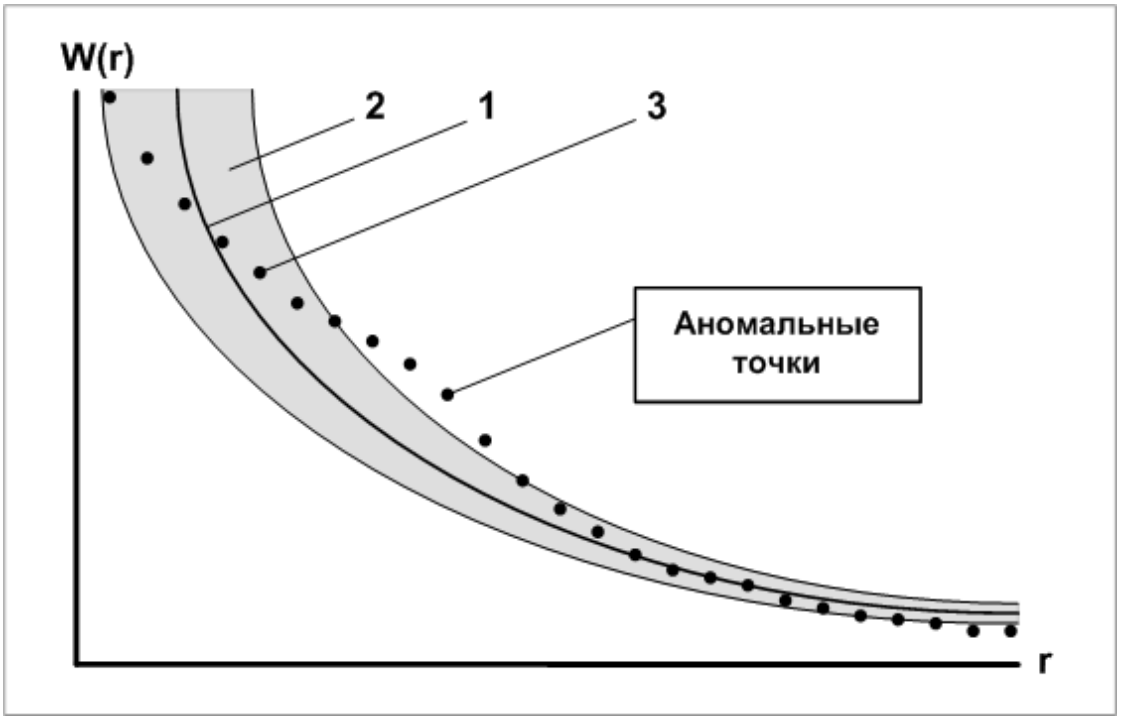

Рис. 2.10. К процедуре параметрической оптимизации по функциональным параметрам: 1 – аппроксимационная кривая; 2 – переменный доверительный интервал; 3 – эмпирические точки рангового распределения

Однако прежде чем в следующей главе перейти собственно к выводу уравнений закона оптимального построения техноценозов необходимо обсудить ряд ключевых процедур, осуществляемых над видовыми и ранговыми распределениями. В первую очередь нас будет интересовать, в чем заключается физический смысл интегрирования данных распределений.

Формальный анализ видового распределения техноценоза показывает, что интеграл

$$\int \Omega(x)dx, \tag{2.22}$$

где $\Omega(x)$ – видовое распределение техноценоза с мощностью популяции x,

будучи взят в пределах $[0,\infty)$, дает общее количество видов в исследуемом техноценозе. Тот же интеграл в пределах $[x_1, x_2]$ дает количество видов, приходящихся на соответствующую касту.

Аналогичный анализ рангового видового распределения позволяет заключить, что интеграл

$$\int \Lambda(r_B)dr_B, \tag{2.23}$$

где $\Lambda(r_B)$ – ранговое видовое распределение техноценоза с видовым рангом r_B,

будучи взят в пределах $[0,\infty)$, дает общее количество особей в техноценозе. Интеграл в пределах $[r_{B1}, r_{B2}]$ дает количество особей, приходящихся на вид, ограниченный соответствующими видовыми рангами, т.е. фактически – численность данной популяции.

Наконец анализ рангового параметрического распределения свидетельствует, что интеграл

$$\int W(r)dr, \tag{2.24}$$

где $W(r)$ – ранговое параметрическое распределение техноценоза с параметрическим рангом r,

будучи взят в пределах $[0,\infty)$, дает совокупный параметрический ресурс по параметру W. В случае если этот параметр видообразующий, интеграл в пределах $[r_1, r_2]$ дает совокупный параметрический ресурс, приходящийся на вид, ограниченный соответствующими параметрическими рангами. Если же мы имеем дело с функциональным параметром, то интегрирование в пределах $[r_1, r_2]$ дает совокупный параметрический ресурс, приходящийся на пространственно-технологический кластер, в котором особи ограничены соответствующими рангами.

Несколько важных замечаний относительно корректности процедуры интегрирования видовых и ранговых распределений техноценоза. Для нас очевидно, что практически реализованные эмпирические распределения всегда дискретны, и для них в реальных вычислительных процессах операция интегрирования заменяется суммированием в пределах исследуемых выборок. Однако вспомним вывод, сделанный нами ранее в параграфе 2.1 относительно процедуры аппроксимации распределений. Учитывая, что в процессе аппроксимации мы фактически без изменения формы обобщаем конечную выборку эмпирических точек техноценоза до континуума генеральной совокупности, можно заключить, что аппроксимацион-

ная форма видового или рангового распределения – это и есть соответствующее вероятностное распределение.

В чем заключается обобщение для видового и рангового видового распределений? Это есть не что иное, как учет фрактальности видообразования в техноценозе [19,20,28]. Аппроксимационная форма видового распределения показывает своего рода средневзвешенное (в вероятностном смысле) распределение особей техноценоза по видам. Очевидно, что в математическом смысле ранговое видовое распределение является лишь обратным относительно видового распределения. Для параметрического распределения обобщение в результате процедуры аппроксимации позволяет учесть континуальность гауссового разброса возможных значений параметров особей техноценоза, а также конвенционность процедуры ранжирования особей, относящихся к одной популяции. Таким образом, процедура интегрирования аппроксимационных форм видовых и ранговых распределений является вполне корректной. В определенном смысле она даже устраняет упомянутые выше погрешности эмпирических распределений техноценоза, связанные с трансцендентностью последних.

Теперь о пределах интегрирования в выражениях (2.22) – (2.24). Интегрирование распределений в пределах от нуля до бесконечности также имеет фундаментальный смысл. Это позволяет учесть конвенционность границ техноценоза, если мы его рассматриваем как целое, а также известную проблему взаимопроникновения, доминирования и зависимости техноценозов [20,28]. Кроме того, интегрируя подобным образом, мы учитываем так называемую «виртуальную касту», т.е. совокупность особей техноценоза (как правило, саранчовых), по разным причинам всегда оказывающуюся вне нашего поля зрения [28,59].

Как известно [12,19,20], вывод уравнений закона оптимального построения техноценозов связан с применением первого и второго начал термодинамики и соответствующим оперированием над видовыми и ранговыми распределениями. Рассмотрим основные из этих операций.

Применение к техноценозу первого начала термодинамики (закона сохранения энергии) [12,19,20] позволяет признать, что в любом техноценозе всегда соблюдается энергетический баланс, с одной стороны, между совокупным видообразующим параметрическим ресурсом, овеществленным в технических изделиях при изготовлении:

$$\sum_{j}\left(\int_{0}^{\infty}\omega_{j}(x)dx\right), \qquad (2.25)$$

где ω_j – j-е нормированные видообразующие параметры, имеющие смысл полезного эффекта,

и совокупным функциональным параметрическим ресурсом, затрачиваемым на производство технических изделий и всестороннее обеспечение их эксплуатации, с другой стороны:

$$\sum_{j}\left(\int_{0}^{\infty}\mu_{j}(x)dx\right), \tag{2.26}$$

где μ_j – j-е нормированные функциональные параметры, имеющие смысл затрат.

Применение к техноценозу второго начала термодинамики (принципа неубывания энтропии) [12,19,20] позволяет заключить, что состояние техноценоза, максимизирующее энтропию, фиксируется при выполнении для всех популяций следующего условия:

$$\sum_{j}\left(\int_{r_1}^{r_2}\omega_{ij}(x)dx\right) = W_{\Sigma i} = \text{const}, \tag{2.27}$$

где r_1 и r_2 – левая и правая ранговые границы популяции на ранговом параметрическом распределении, построенном по видообразующим параметрам;

$W_{\Sigma i}$ – совокупный видообразующий ресурс, одинаковый для всех i-ых популяций техноценоза.

Как показано в работах [11,12,19,20] выполнение (2.27) приведет техноценоз к состоянию, при котором в нем будет такой набор технических изделий, который максимизирует положительный эффект от их функционирования при минимальных затратах на всестороннее обеспечение данного процесса. Если осмысливать это состояние с философской точки зрения, то мы увидим не что иное, как аристотелевский «минимакс».

Следует отметить, что суммирование в выражениях (2.25) – (2.27) объясняется счетностью параметров, описывающих технические изделия. Нормирование параметров производится относительно базовых особей, в качестве которых, как правило, выбираются особи с наибольшим параметрическим рангом. Операция нормирования позволяет привести всю совокупность параметров к единой относительной системе координат, что делает возможными линейные преобразования над распределениями.

Таким образом, мы вплотную подошли к выводу уравнений закона оптимального построения техноценозов. Однако с точки зрения прикладной методологии важно более подробно рассмотреть так называемые тонкие процедуры рангового анализа, которые уточняют стандартные процедуры интервального оценивания, прогнозирования и нормирования.